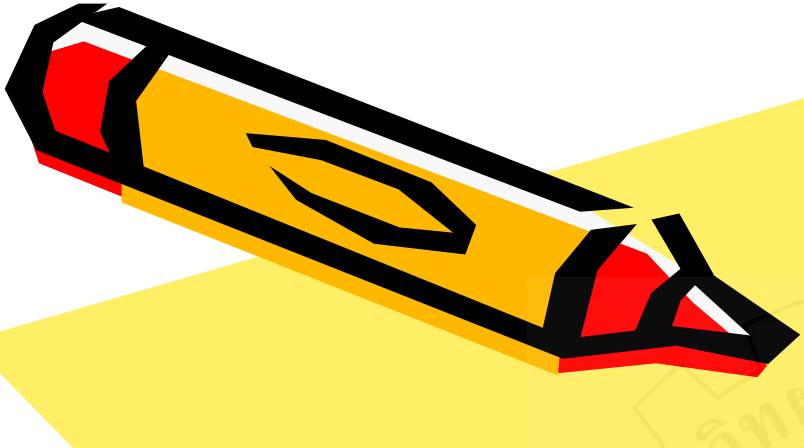
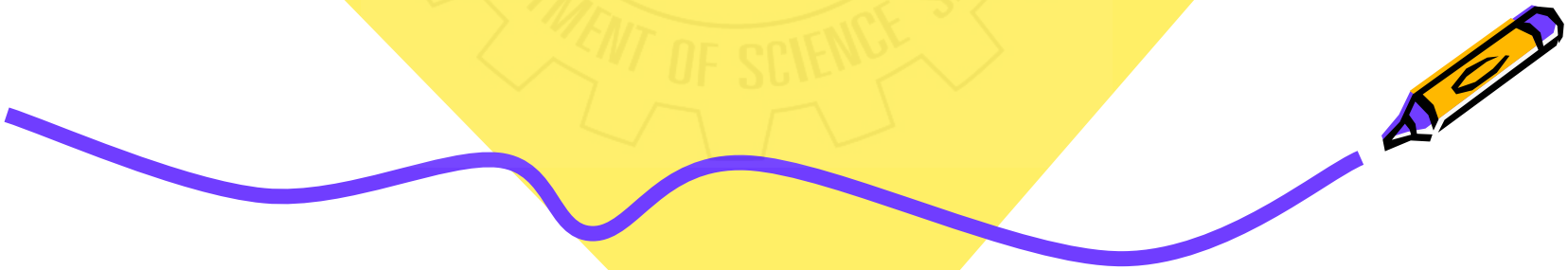


การลดต้นทุนโดยการเผาที่อุณหภูมิต่ำ



ข้อดีของ Ceramic

- สวยงาม คลาสสิค ดูมีคุณค่า
- สีสันคงทนถาวร
- มีความแข็งแรงสูง
- ทนทานต่อสารเคมี
- ส่วนใหญ่เป็นฉนวนไฟฟ้าและความร้อน

การแบ่งชนิดของ **White ware**

1. Porcelain เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูง >1250 ^{o}c

   มีความแข็งแรงสูงมาก มีการดูดซึมน้ำต่ำมาก(ใกล้เคียงศูนย์) ยกตัวอย่าง

   เช่น ลูกถ้วยไฟฟ้า, กระเบื้องแกรนิต, ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร(ราคาแพง), สุขภัณฑ์

   มีคำเรียกอีกอย่างว่า Vitreous china

2. Stone ware เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิเผาปานกลาง ~ 1150-

   1200 ^{o}c มีความแข็งแรงต่ำกว่าพวก porcelain มีการดูดซึมน้ำ

   อยู่ในช่วง 3-5 % ตัวอย่างเช่น กระเบื้องปูพื้น, ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร

3. Bone china เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของเถ้ากระดูก ทำให้

   ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งแสง ความแข็งแรงปานกลาง การดูดซึมน้ำต่ำ

4. Earthen ware เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิในการเผาไม่สูงมาก อยู่ในช่วง 900- 1100 ^{o}C มีความแข็งแรงต่ำ การดูดซึมน้ำสูง ~ 10-20%

ตัวอย่างเช่น กระเบื้องบุผนัง, กระเบื้องหลังคา, ตุ๊กตาและของตกแต่ง

สูตรเนื้อดิน

วัตถุดิบ	ปอร์ซเลน	เออร์เทนแวร์	สโตนแวร์
เฟลดสปาร์	40	-	25
หินผุ	11	33.5	25
ดินเหนียว/ ดินแดง	23.5	55	40
ดินขาว	10.5	-	10
หินปูน	-	11.5	-

คุณสมบัติของเนื้อดิน

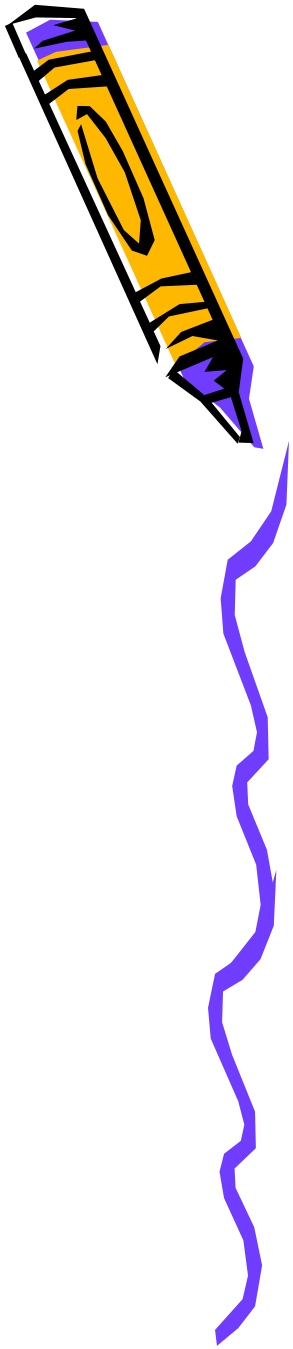
	ปอร์ซเลน	เออร์เทนแวร์	สโตนแวร์
%การขยายตัว	0.19	0.18	0.21
%การหดตัวหลังอบ	0.6	0.08	0.9
%การหดตัวหลังเผา	6.5	0.06	5.8
ความแข็งแรงดิบ	4.5	6.45	7.34
ความแข็งแรงหลังอบ	16.9	20.4	20.2
ความแข็งแรงหลังเผา	454.5	195.3	310.4
%น้ำหนักที่สูญเสีย	3.57	6.55	4.67
%การดูดซึมน้ำ	0.5	17.5	5.5

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการ

- ความแข็งแรง
- %การดูดซึมน้ำ
- ความสวยงาม สีเคลือบได้ตามที่ต้องการ และไม่มีตำหนิ
- ขนาดได้ตามที่ต้องการ

วัตถุดิบที่ใช้กับเนื้อดิน

- เฟลดสปาร์
- ทรายหรือควอซ์ต
- หินปูน หรือโดโลไมท์
- ดินดำ
- ดินขาว
- ดินแดง
- หินผุ



เฟลดสปาร์ (หินฟันม้า)

- **Feldspar** มาจากภาษาเยอรมัน " feldspat "

- เกิดจากหินร้อนหรือลาวา ภายใต้พื้นโลก ⟹ หินอัคนี ⟹ feldspatic rock

สูตรเคมี $R_2OAl_2O_36SiO_2$

ชนิดของ feldspar แบ่งตามอัลคาไล ที่อยู่ในแร่

- **Potassium feldspar** ($K_2OAl_2O_36SiO_2$)

  - **Orthoclase** โครงสร้างผลึกเป็น **monoclinic**

  - **Microcline** โครงสร้างผลึกเป็น **triclinic**

ส่วนประกอบทางเคมีตามทฤษฎีของ feldspar

	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O
Na - feldspar	68.7	19.5	11.8	-
K - feldspar	64.8	18.3	-	16.9
Nepheline syenite	41.5	35.2	17.5	5.8

แหล่งที่พบ

feldspar พบได้ทั่วไปบนผืนโลก แหล่งที่มีคุณภาพดีอยู่ที่แถบประเทศสแกนดิเนเวีย ยูเครน อิตาลี ฝรั่งเศส อเมริกา อินเดีย

แหล่งสำคัญในเมืองไทย

K - feldspar อ. สวนผึ้ง จ.ราชบุรี อ. ฝาง จ. เชียงใหม่

Na - feldspar อ. น้ำดิบ จ. ตาก , จ. กาญจนบุรี , จ. ราชบุรี จ. นครศรีธรรมราช

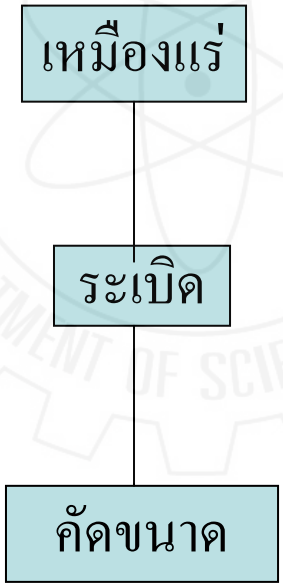
แหล่ง Nepheline syenite ที่สำคัญ อยู่ที่แถบไซบีเรีย , แคนาดา , ฟินแลนด์ บราซิล , อเมริกา

เหมือง Feldspar

การแต่งแร่ feldspar

1. การลอยแร่ (flotation)

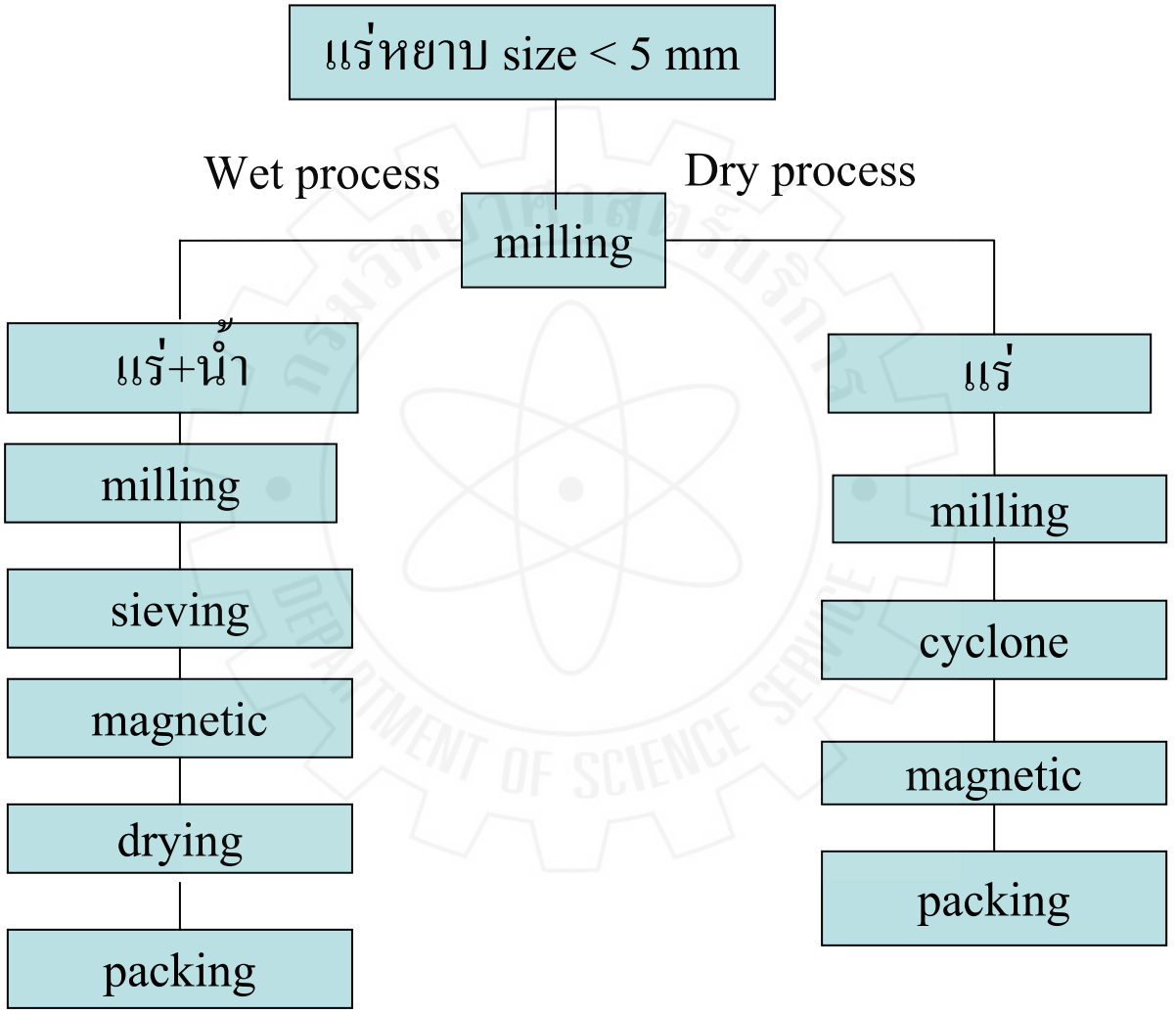
2. การบดย่อย (crushing)



Jaw crusher , Hammer mill , Cone crusher

Size < 5 mm

3. การบดละเอียด (Grinding)



การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก

ใช้เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมตัว (Flux)

K-feldspar มีจุดหลอมตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า **Na-feldspar** แต่มี firing range กว้างกว่า

- ใช้เป็น flux ใน body porcelain , insulator , granite tile , sanitary ware ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยว , แก้ปัญหา size variation
- ใช้เป็น flux ใน glaze ของ product ที่เผาสูง ทำให้เคลือบมี abrasive resistance ดีขึ้น สีเคลือบสดใสเป็นมันวาว

Na-feldspar เป็น **flux** ที่อุณหภูมิต่ำกว่า **K- feldspar** มี **firing range** แคบ

- มักใช้เป็น **flux** ในสีเคลือบ เพื่อลดอุณหภูมิในการเผา
- ใช้ใน **body** พวก **product** ที่เผาต่ำ , **fast firing**
- ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว, กระจก, frit

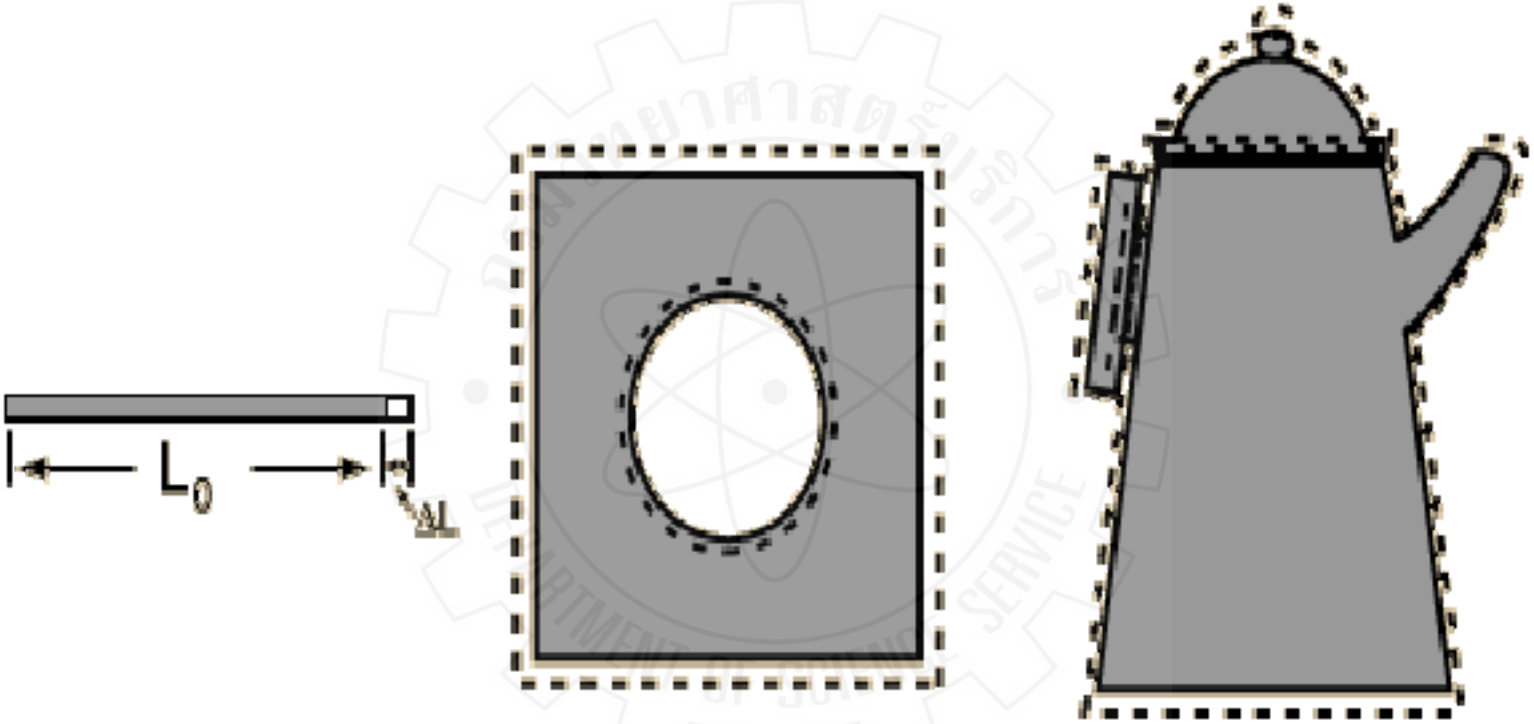
Nepheline syenite

เป็น **flux** ที่รุนแรงกว่า **Na-feldspar** ใช้ในสีเคลือบ จะให้ความมันสูงและลดอุณหภูมิในการเผาลง มักใช้ในรูป **powder** มีความละเอียดและความบริสุทธิ์สูง แต่มีราคาแพงและต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ

Fusion test of Feldspar

Thermal expansion coefficient

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน



Linear expansion

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T$$

Area expansion

$$\frac{\Delta A}{A_0} = 2\alpha \Delta T$$

Volume expansion

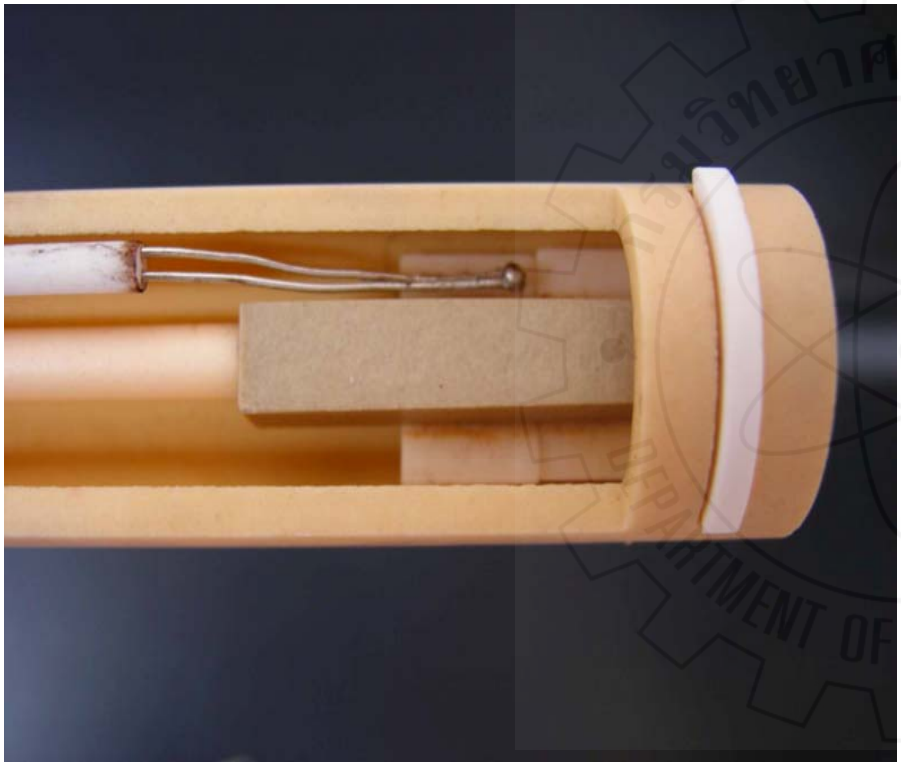
$$\frac{\Delta V}{V_0} = 3\alpha \Delta T$$

Thermal expansion coefficient
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

- ปัจจัยที่มีผลต่อค่า COE
  - Interatomic spacing, พลังงานพันธะของวัสดุ
  - โครงสร้างผลึก
  - เฟสต่างๆที่อยู่ในเนื้อวัสดุ
  - อุณหภูมิ
  - จุดหลอมตัวของวัสดุ

Material : polycrystals	**Thermal expansion coefficient (x 10^{-6}) 20 to 1000°C- mean temperature, 1/°C**
Cordierite ($Mg_2Al_4Si_5O_{18}$)	**2**
Corundum (Al_2O_3)	**9**
Stoneware	**8**
Quartz (SiO_2)(20-400°C)	**17**
Steel	**14**
Zircon ($ZrSiO_4$)	**4**
Fused silica	**0.6**
Mullite	**5.5**

เครื่อง Dilatometer

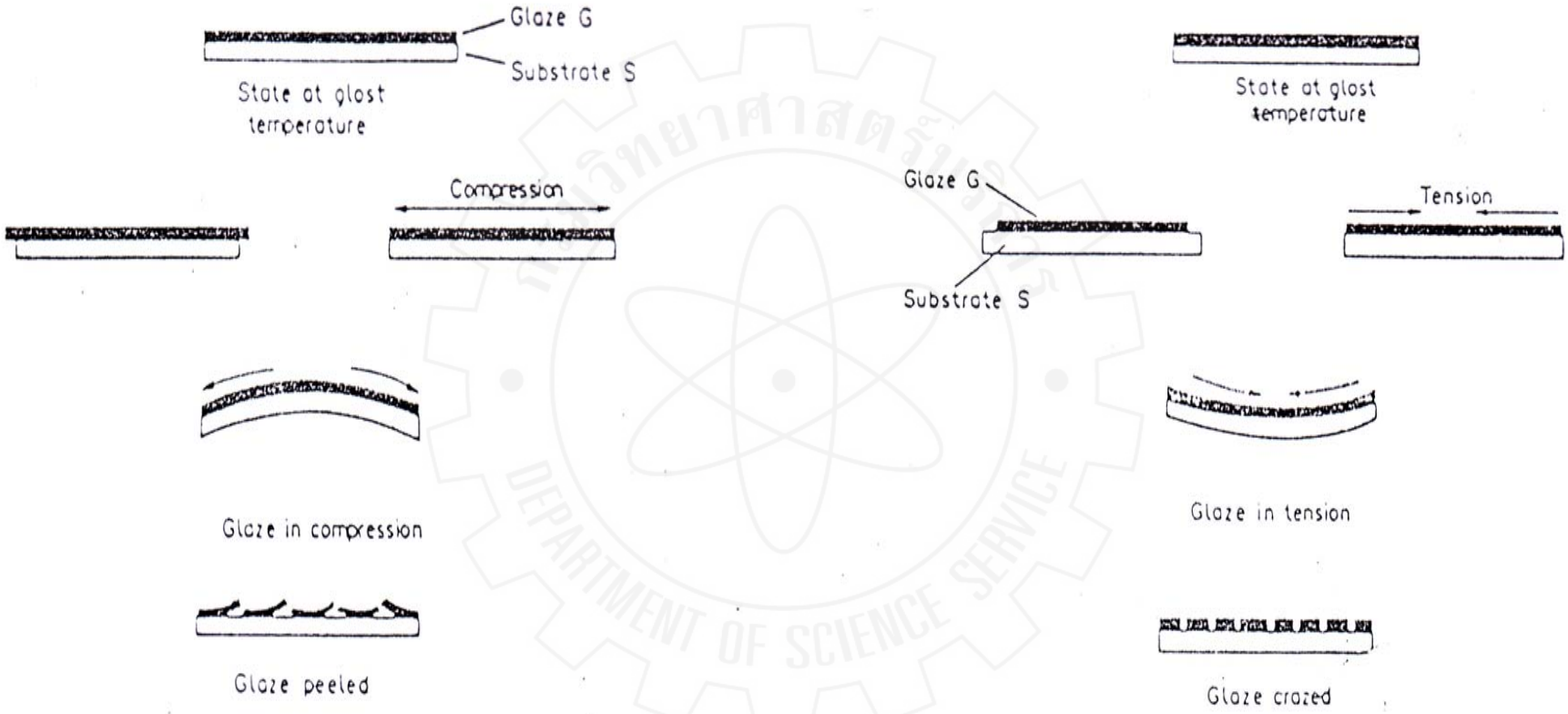


แท่งเคลือบที่ใช้ทดสอบค่า COE

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (COE)

มีผลต่อผลิตภัณฑ์เซรามิกดังนี้

- ความทนทานต่อการรานตัว
- การเปลี่ยนอุณหภูมิโดยเฉียบพลัน
- การรานตัวเมื่อเวลาผ่านไป
- ความทนทานต่อจุดเยือกแข็ง
- ตำหนิต่างๆที่เกิดในช่วงการเผาเช่น การบิดตัวของชิ้นงาน, การคืนตัวของกระเบื้อง, การแตกร้าว
- ความทนทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างที่อุณหภูมิต่างๆ



$\alpha_{body} > \alpha_{glaze}$

$\alpha_{body} < \alpha_{glaze}$

เหมือง Pottery stone

คุณสมบัติของวัตถุดิบ

	ดินดอนไฟ	ดิน สิงห์บุรี	ดินชัยภูมิ	ดิน ปราจีน	หินผุแก่งคอย	ดินแม่ทาน	ดินขาว ระนอง	ดิน สุพรรณ
%การขยายตัว	0.33	0.38	0.35	0.81	0.40	0.45	0.41	0.32
%การหดตัวหลังอบ	0.21	0.26	0.41	-0.11	0.26	0.35	0.15	0.25
%การหดตัวหลังเผา	8.57	7.62	10.22	3.62	5.50	6.73	3.50	3.45
ความแข็งแรงดิบ	10	10	12	4	11	14	6	12
ความแข็งแรงหลังอบ	34	29	72	19	58	65	20	54
ความแข็งแรงหลังเผา	474	337	497	192	363	387	163	254
น้ำหนักที่หายไป	8.54	6.20	3.80	5.28	3.64	6.51	3.11	3.65
การดูดซึมน้ำ	0.15	5.25	0.31	18.31	8.84	2.34	13.63	11.4
กากค้าง 230#	10.41	9.19	7.56	55.1	15.11	2.1	6.93	6.76
ปริมาณการใช้สารเคมี	1.2%	1.7 (D1.5)	0.3%	0.2%	0.7%	0.4%	0.3%	0.4%
ราคา(บาท/ตัน)	740	590	630	540	435	1,250	2,300	480

วัตถุดิบสำหรับสีเคลือบ

- ฟริต
- เฟลด์สปาร์
- ทรายหรือควอซ์ต
- หินปูน
- โดโลไมท์
- แบเรียมคาร์บอเนต
- วอลลาสโตไนท์
- ทัลคัม
- อลูมิน่า
- สีเซรามิก
- ออกไซด์ต่างๆเช่นเหล็กออกไซด์ โคบอลท์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์
- ไททาเนียม
- แก้วบด
- ลิเทียม
- ตะกั่วขาว ตะกั่วแดง

ฟริต

- **ประโยชน์**

  -สามารถเผาเคลือบได้เร็วขึ้นและเผาได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

  -เป็นวัตถุดิบที่ไม่ละลายน้ำ

  -ป้องกันอันตรายของสารพิษบางตัวเช่นตะกั่ว โดยนำมาหลอมให้อยู่ในรูปของฟริต

  -ช่วงการเผา จะกว้างกว่า เคลือบที่ใช้วัตถุดิบ

การควบคุมคุณภาพของฟริต

- ทดสอบการหลอมตัว
- ทดสอบการไหลตัว
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน
- จุดของการเริ่มหลอมตัว
- ขนาดของเม็ดฟริต
- ผสมในสูตรเพื่อดูผลกระทบกับสี และดูผิว ตำหนิต่างๆที่จะเกิดขึ้นได้ เช่นรูพรุน รูเข็ม

การทดสอบการไหลตัว

Heating microscope picture

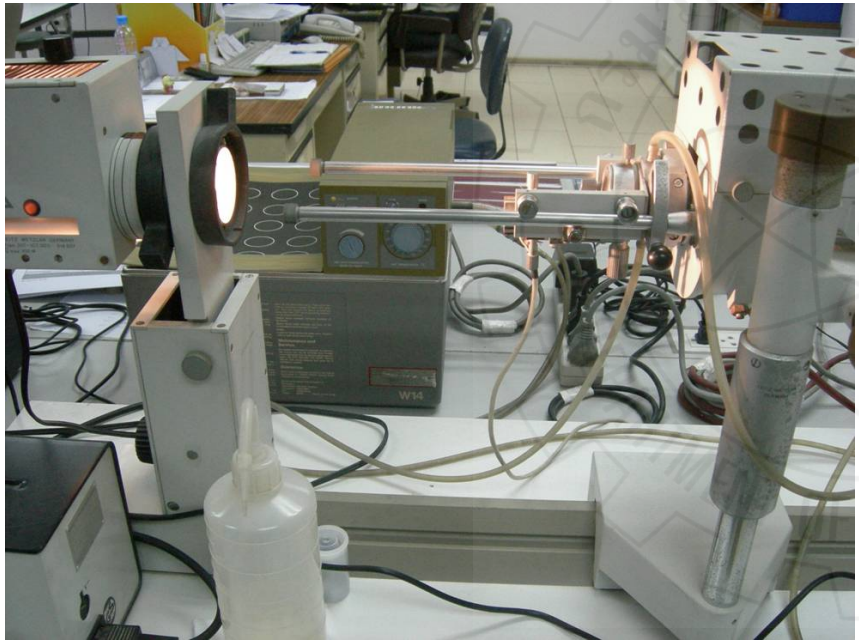
sintering

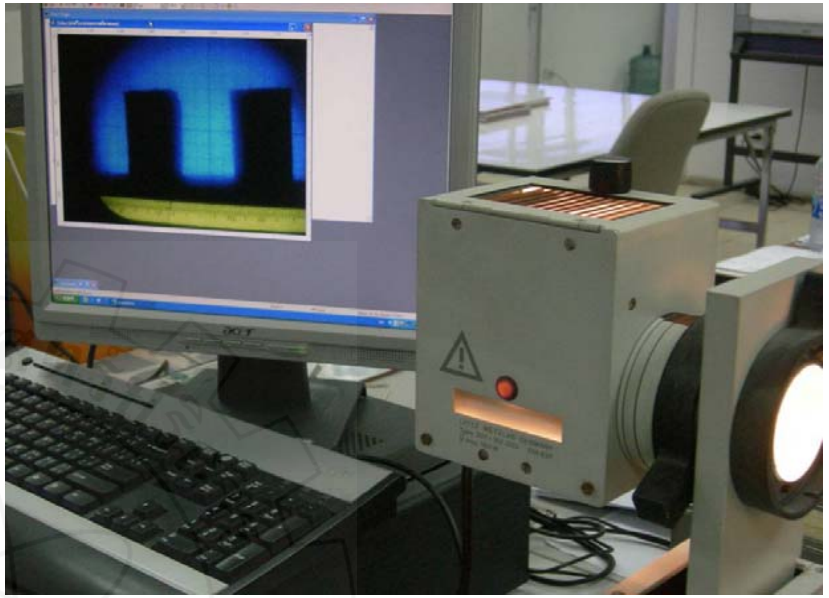
Softening point

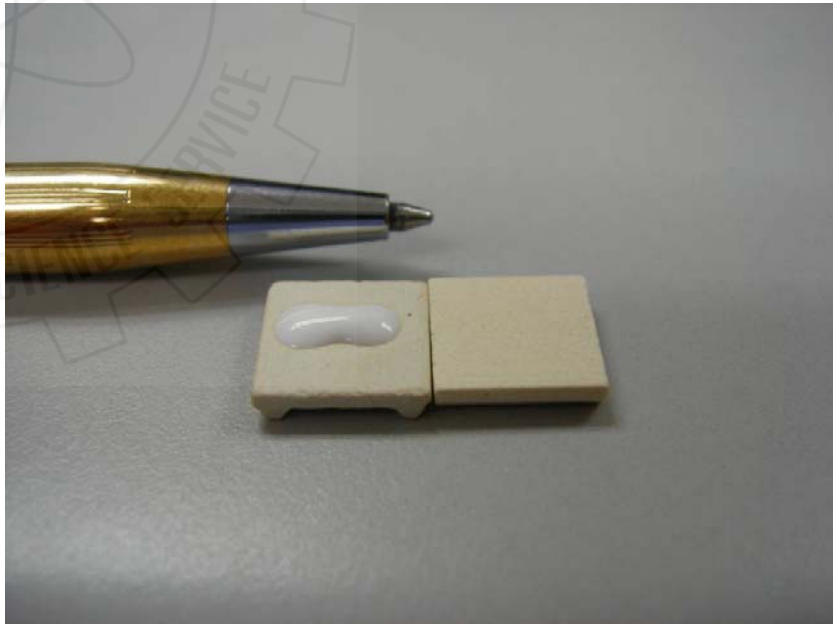
Ball point

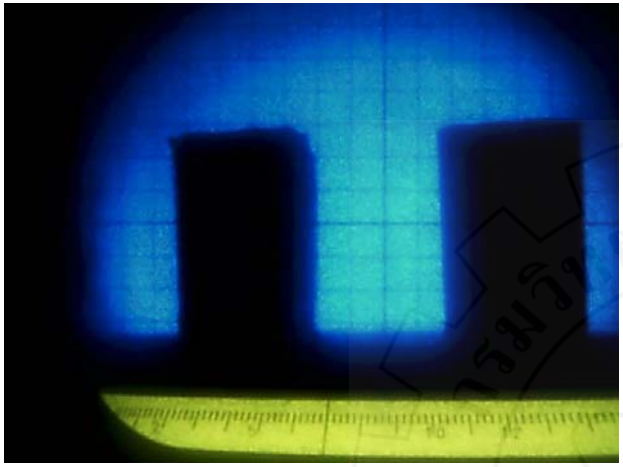
Haft ball point

fusion

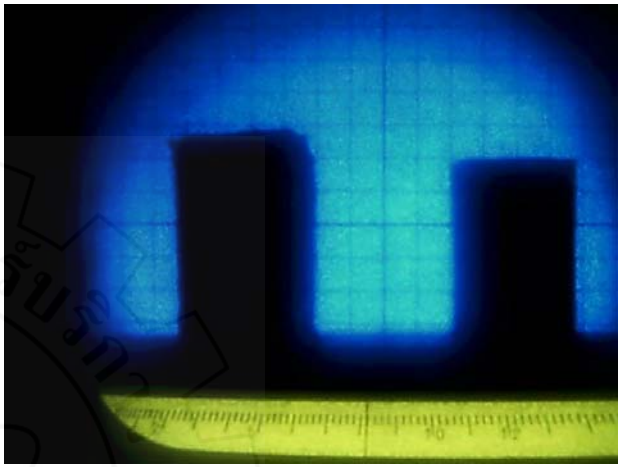




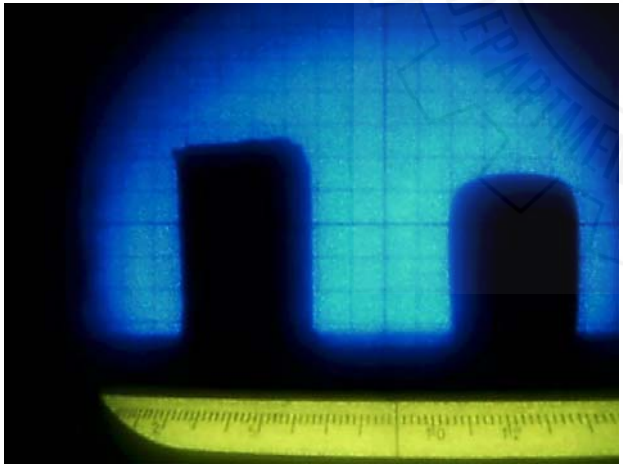




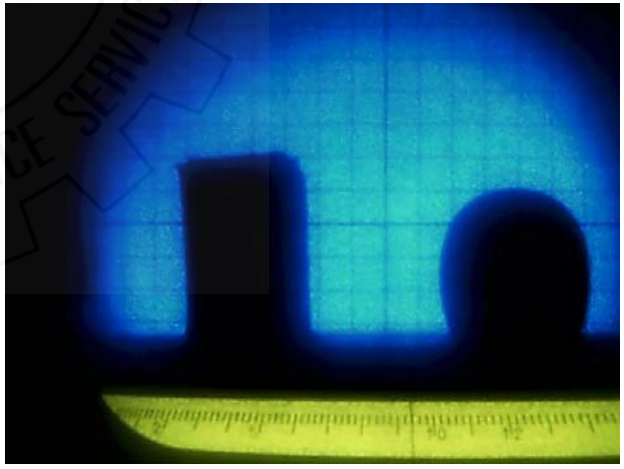
700 ºC



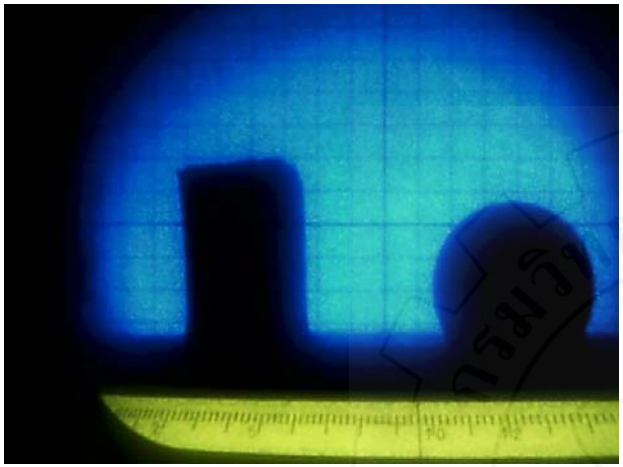
860 ºC



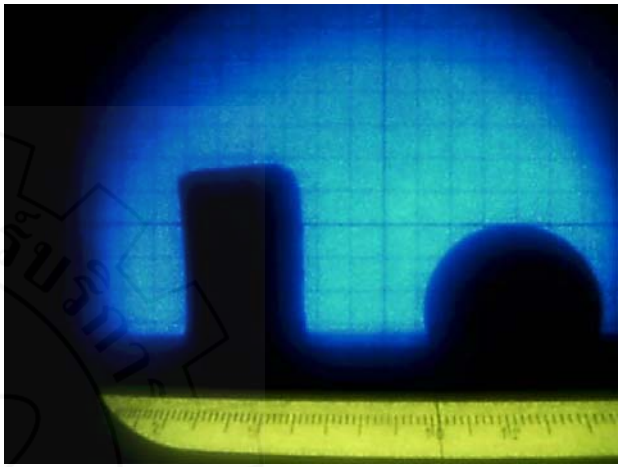
900 ºC



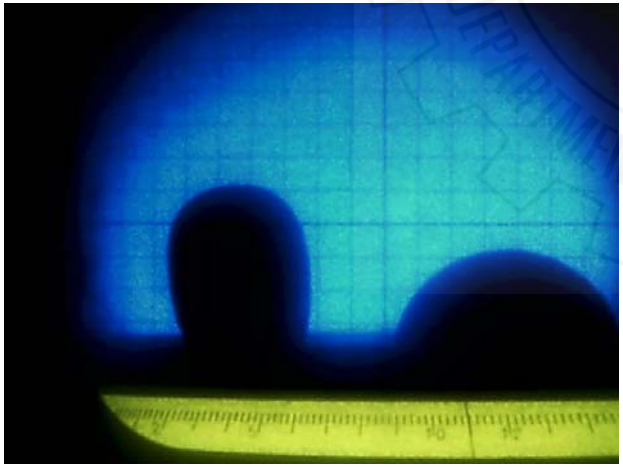
940 ºC



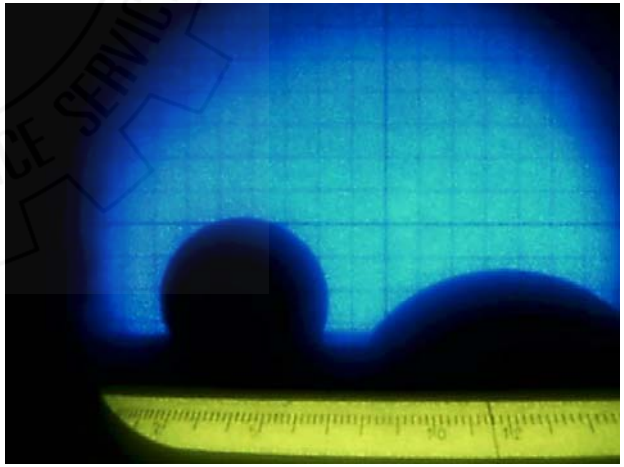
980 ºC



1040 ºC



1100 ºC



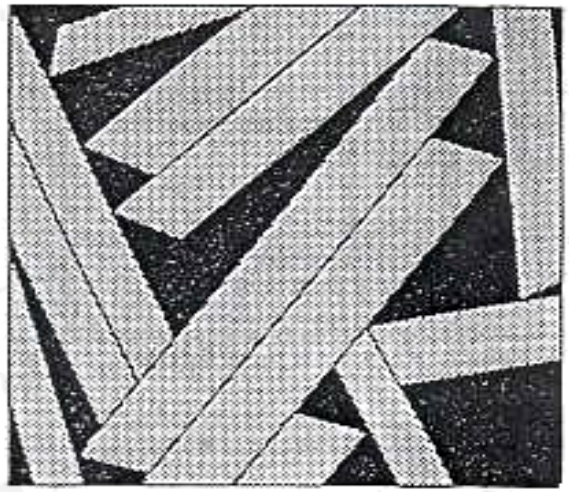
1160 ºC

การอบแห้ง

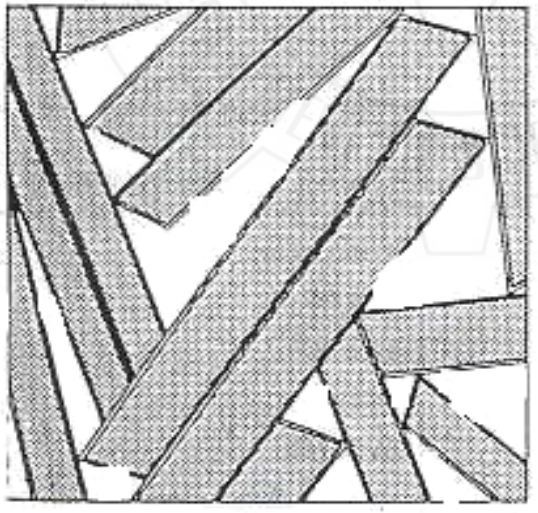
- **จุดประสงค์ของการอบแห้งก็คือเพื่อกำจัดน้ำที่มาจากการเตรียมเนื้อดิน, การขึ้นรูป ออกให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเวลาเผา โดยเฉพาะการเผาแบบเผาเร็ว**
- **สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการอบแห้ง คือค่า %การหดตัวหลังอบแห้ง ซึ่งถ้าค่าการหดตัวนี้มีค่าสูงจะทำให้เกิดรอยแตกร้าวเล็กๆภายในชิ้นงานอบแห้ง ได้ ซึ่งจะไปเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจนตอนเผา**
- **ปริมาณความชื้นคงเหลือในชิ้นงาน นั้นไม่ควรเกิน 0.5 %**
- **อุณหภูมิหน้ากระเบื้องหลังออกจากเตาอบ จะเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงด้วยเช่นกัน**

น้ำชนิดต่าง ๆ ในเนื้อดิน

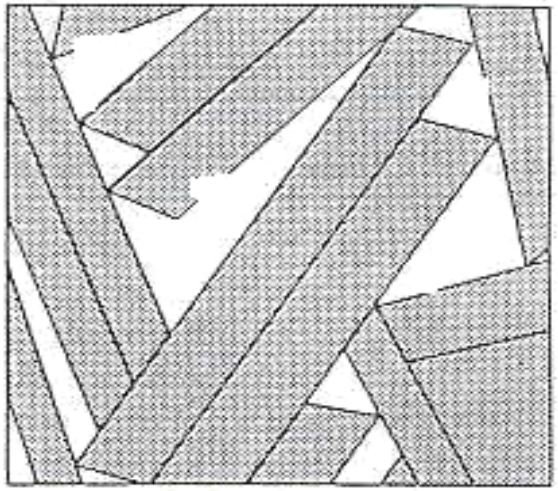
(a)



(b)

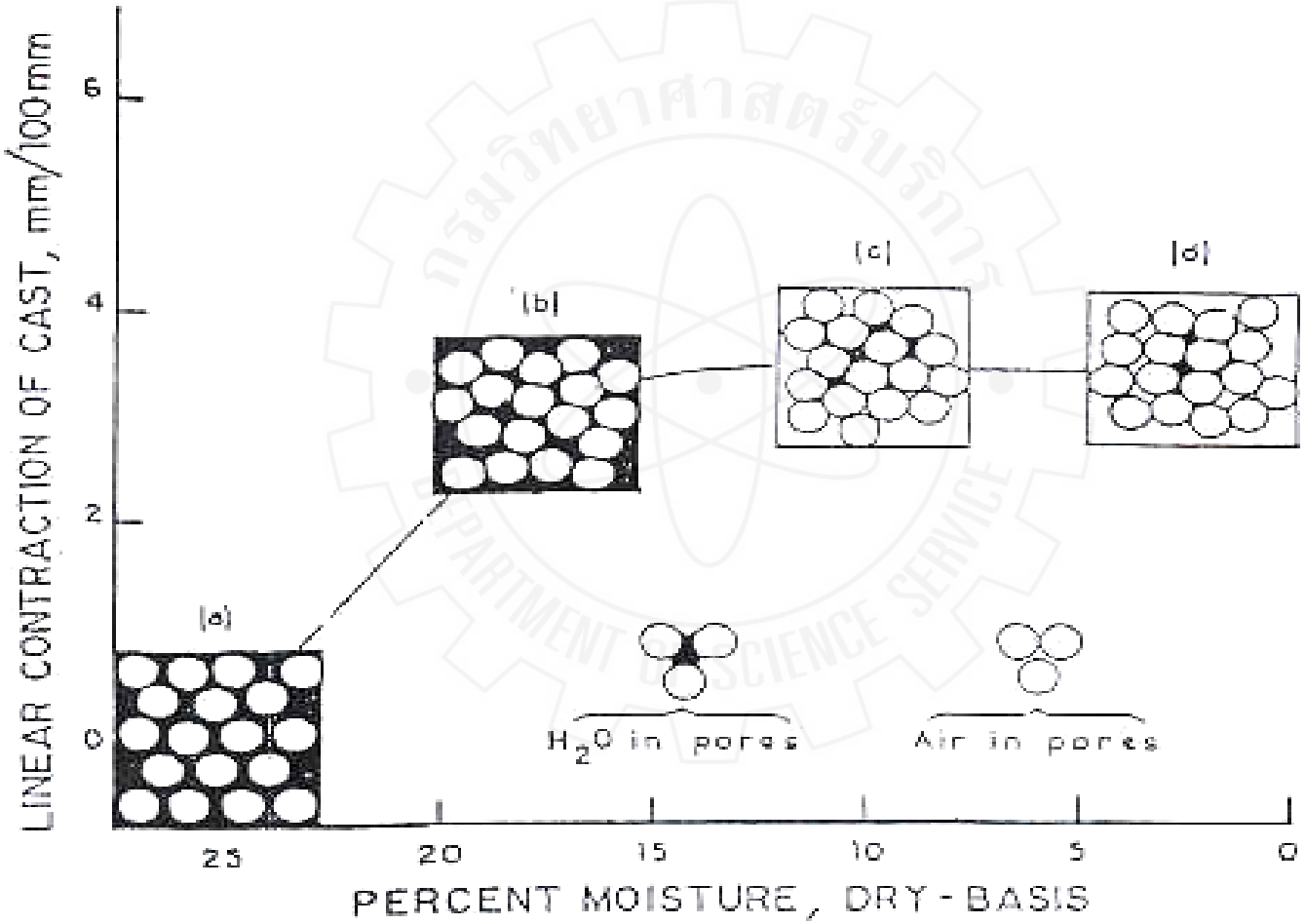


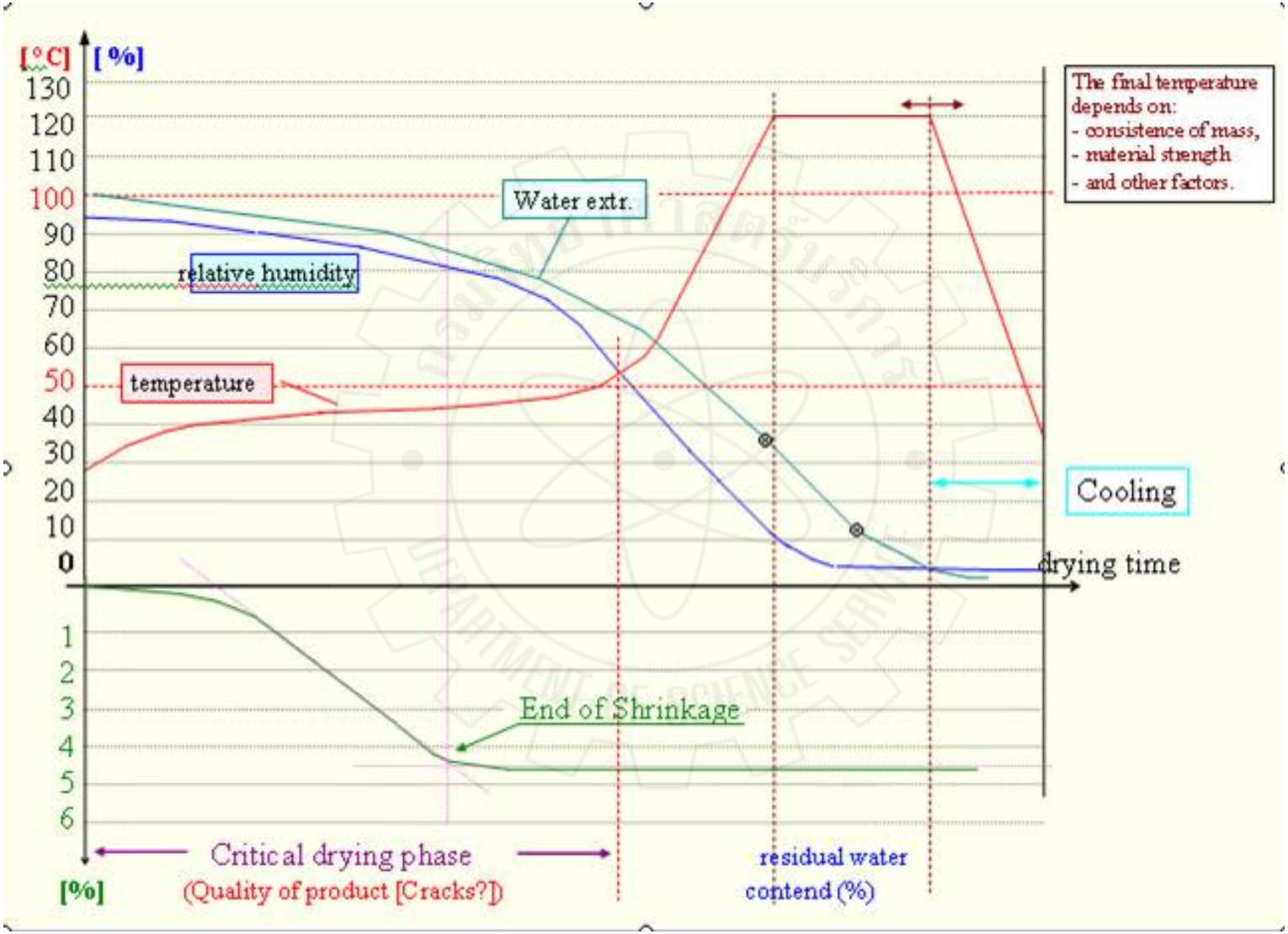
(c)



(d)

การหดตัวของอนุภาคเนื้อดินในระหว่างการอบแห้ง



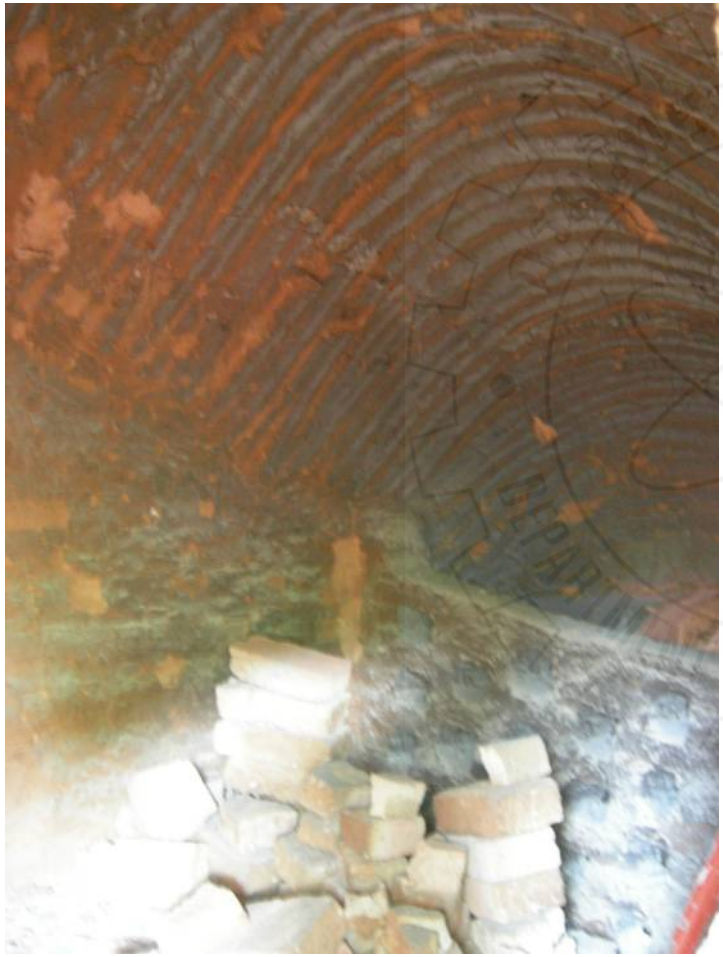

[°C]
[%]
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
6
Water extr.
relative humidity
temperature
The final temperature depends on:
- consistence of mass,
- material strength
- and other factors.
Cooling
drying time
End of Shrinkage
Critical drying phase
(Quality of product [Cracks?])
residual water contend (%)
[%]

การเผา (FIRING)

ชนิดของเตาเผา

- **Shuttle Kiln เป็นเตาที่ทำการเผาเป็นครั้งคราว**

เตาฟืน



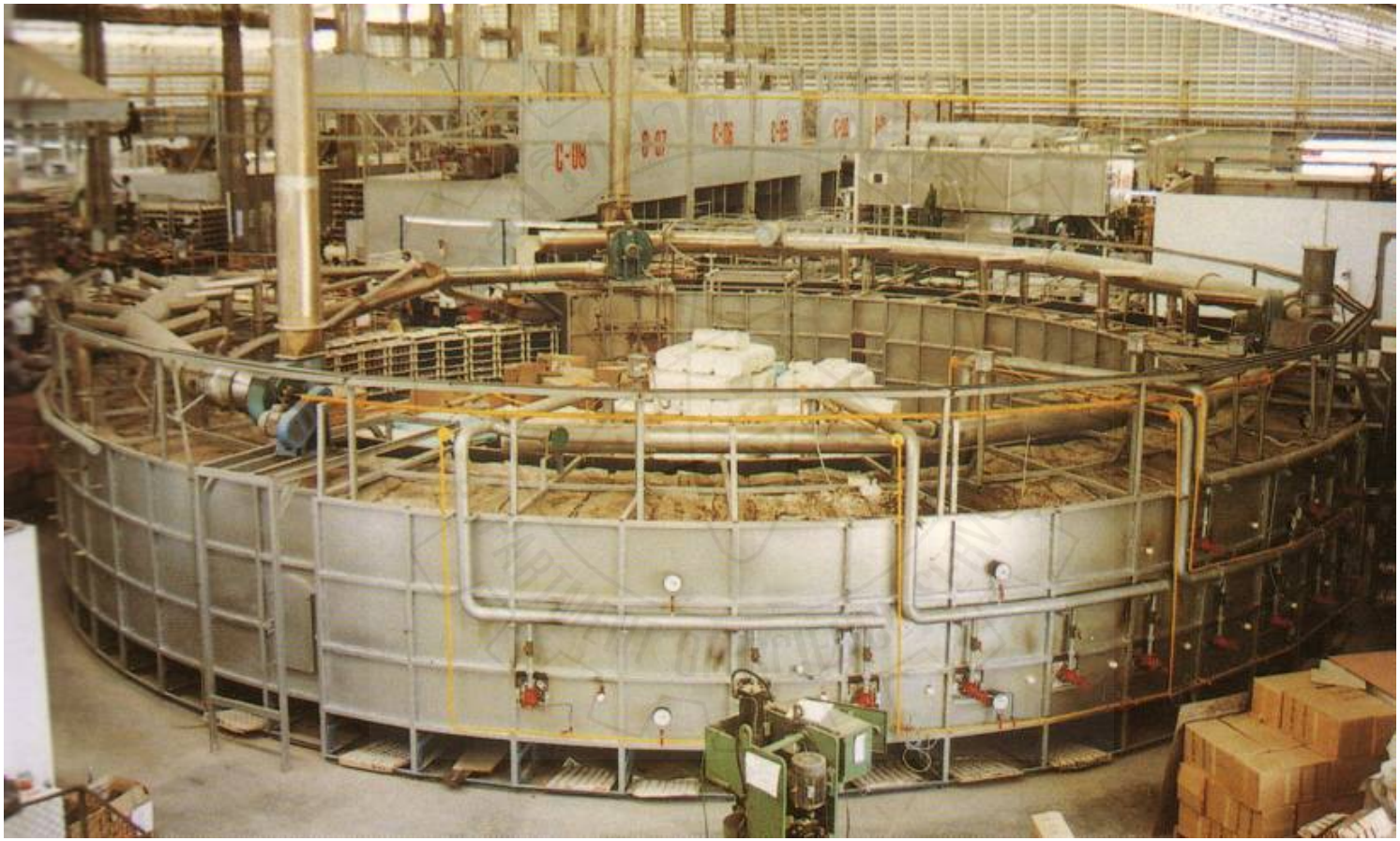
INSECT
REPELLENT

Shuttle kiln

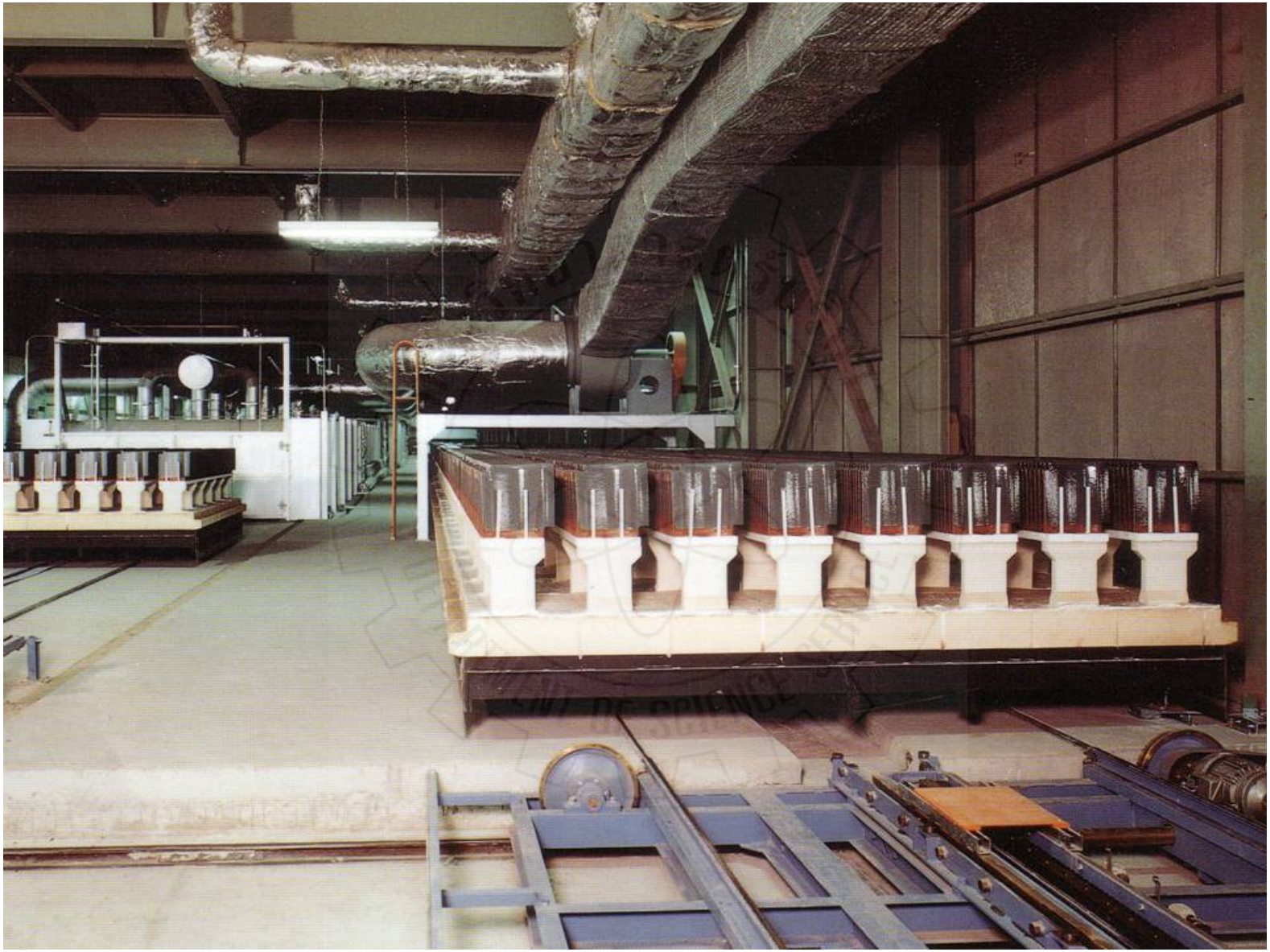
27 14:31

- **Tunnel kiln (เตาอุโมงค์)** เป็นเตาแบบ Continuous ที่ใช้รถเป็นตัว Load ผลิตภัณฑ์ ขณะเข้าเผา ใช้เวลาในการเผานาน และ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกันสูง

Tunnel kiln (Round kiln)



Tunnel kiln



- **Roller Kiln** เป็นเตาแบบต่อเนื่อง ใช้แท่งเซรามิกโรลเลอร์ เป็นตัวพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ เป็นเตาเผาแบบเผาเร็ว สิ้นเปลื้องเชื้อเพลิง น้อยกว่าเตาอุโมงค์มาก เนื่องจากไม่ต้องสิ้นเปลืองความร้อนไปกับการเผา ที่ต้องสูญเสียไปกลับรถเผา และวัสดุทนไฟ ที่ใช้เป็นวางชิ้นงาน

nassetti

CARFER
FORNI

ชนิดของการเผา

- การเผาแบบครั้งเดียว (Single firing) เช่น กระเบื้องปูพื้น, กระเบื้องบุผนังแบบเผาครั้งเดียว (Monoporosa), กระเบื้องหลังคา, สุขภัณฑ์, ลูกถ้วยไฟฟ้า
- การเผาแบบสองครั้ง (Double firing) เช่นกระเบื้องบุผนัง, ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร
- การเผาเพื่อการตกแต่ง (Third firing) เช่น กระเบื้องตกแต่ง, เบญจรงค์

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติ

-ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ปราศจากพิษ(จะเติม Odorantเพื่อเพิ่มกลิ่น)

-เบากว่าอากาศ (ความถ่วงจำเพาะ 0.5-0.8) แต่ถ้าเป็นLPG จะมีถ.พ ใกล้เคียงกับอากาศ

-มีสถานะเป็นก๊าซ ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

-ติดไฟ ช่วงการติดไฟที่ 5-15% ของปริมาตรอากาศ

-เผาไหม้สมบูรณ์

การเผา

$$CH_4 + 8N_2 + 2O_2 \longrightarrow 8N_2 + CO_2 + 2H_2O$$

1 ft^3 กาซ : 10 ft^3 อากาศ

1 ft^3 กาซเผาไหม้จะให้พลังงานความร้อน 1030 BTU และเปลว

ไฟที่ได้มีอุณหภูมิ ~ 1870c

การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

หมายถึงการที่มีออกซิเจน ไม่เพียงพอในการเผาไหม้

$$3CH_4 + 5O_2 + 20N_2 \longrightarrow CO_2 + 2CO + 6H_2O + 20N_2$$

ซึ่งจะได้ CO ออกมาเป็นproduct ด้วย

Oxygen ที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นได้มาจากอากาศ ซึ่งในอากาศบริสุทธิ์จะมี ไนโตรเจน ~79% และ ออกซิเจน 21%

CO/CO_2 ratio ถ้ามากกว่า 0.02 แสดงว่าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

-การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์นั้นจะเกิด CO มาก

ปัจจัยที่ทำให้เกิด CO

3T Time จะต้องอาศัยเวลาระยะหนึ่งในการทำให้โมเลกุลของMethane และOxygen ได้สัมผัสกันโดยตรง ยิ่งโมเลกุลของOxygen มากโอกาสที่จะมีการสัมผัสกันจะมีมากขึ้น

Temp gas จะติดไฟได้อย่างต่อเนื่องต้องมีอุณหภูมิ>650 ºC

Turbulence ถ้ามีการปั่นป่วนของโมเลกุลมากคือ Design Burner ได้ดี จะทำให้อากาศกับgas ผสมกันได้ดีขึ้น

หัวพ่นไฟ

หัวพ่นไฟจะต้องถูกออกแบบมาให้สามารถเผาไหม้เกิดเปลวไฟที่มีความเสถียรภาพ และสามารถจ่ายปริมาณความร้อนได้พอเพียงอย่างปลอดภัย

ซึ่งจะสามารถทำได้โดยการควบคุมการจุดติด(Ignition) และควบคุมรูปร่าง ลักษณะของเปลวไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ

เป้าหมายหลักของการออกแบบ

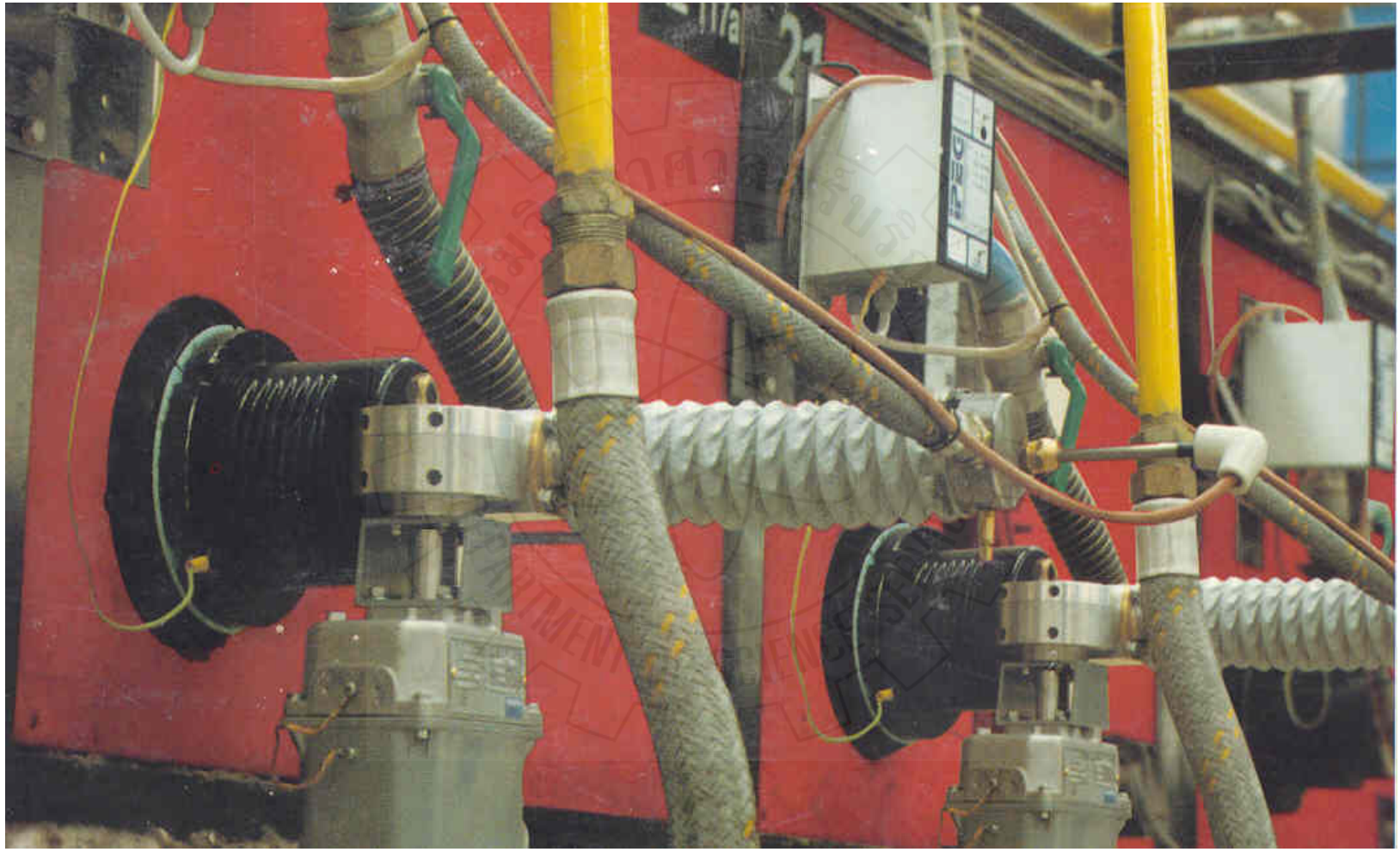
-ต้องสามารถผสมปริมาณอากาศและก๊าซได้ตามสัดส่วนเหมาะสม

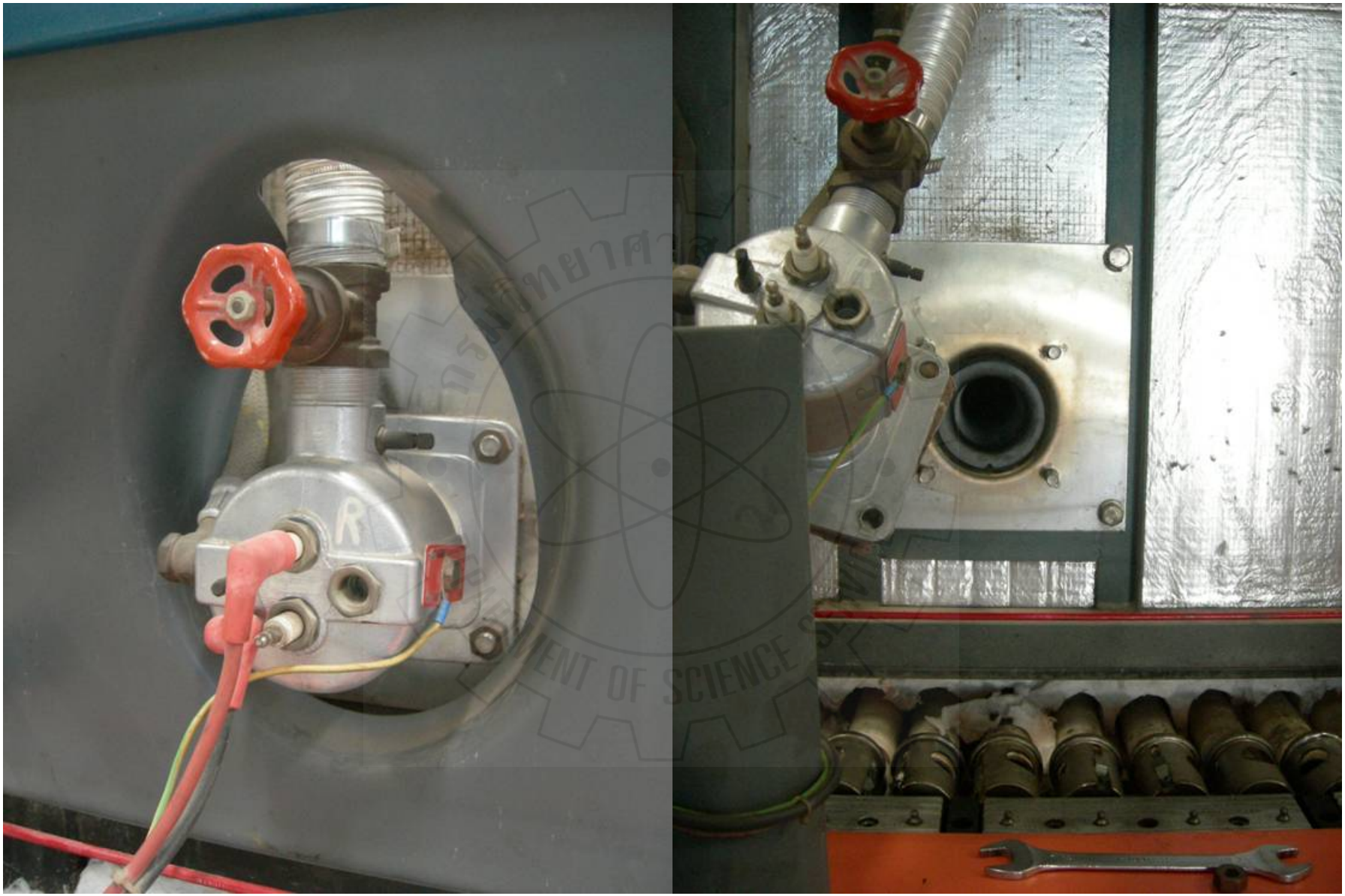
-ต้องสามารถคงสภาวะการจุดติดได้สม่ำเสมอ

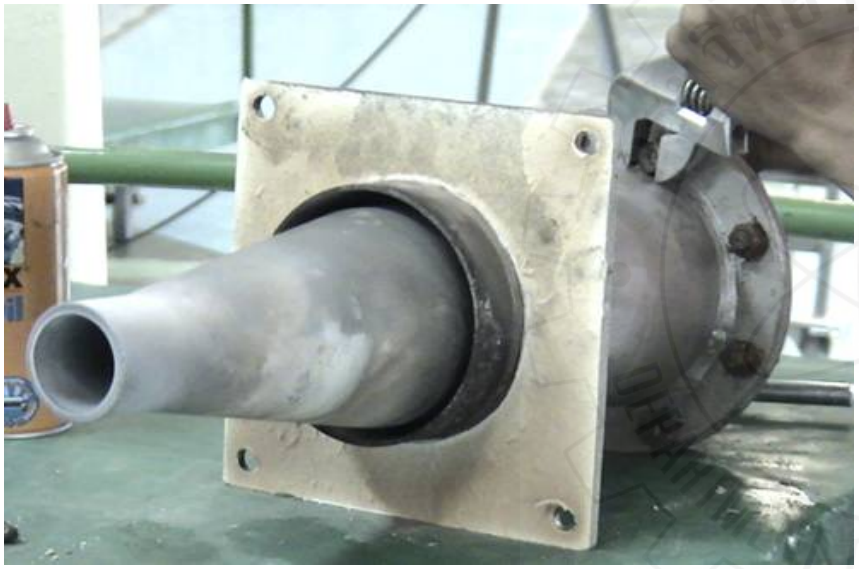
-ต้องสามารถคงสภาวะและรูปทรงของเปลวไฟได้ดี

-ขนาดและรูปร่างของBurner ต้องมีความเหมาะสมต่อการติดตั้งใช้งาน

-ต้องสามารถนำความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากBurner ไปใช้ในกระบวนการต่างๆได้



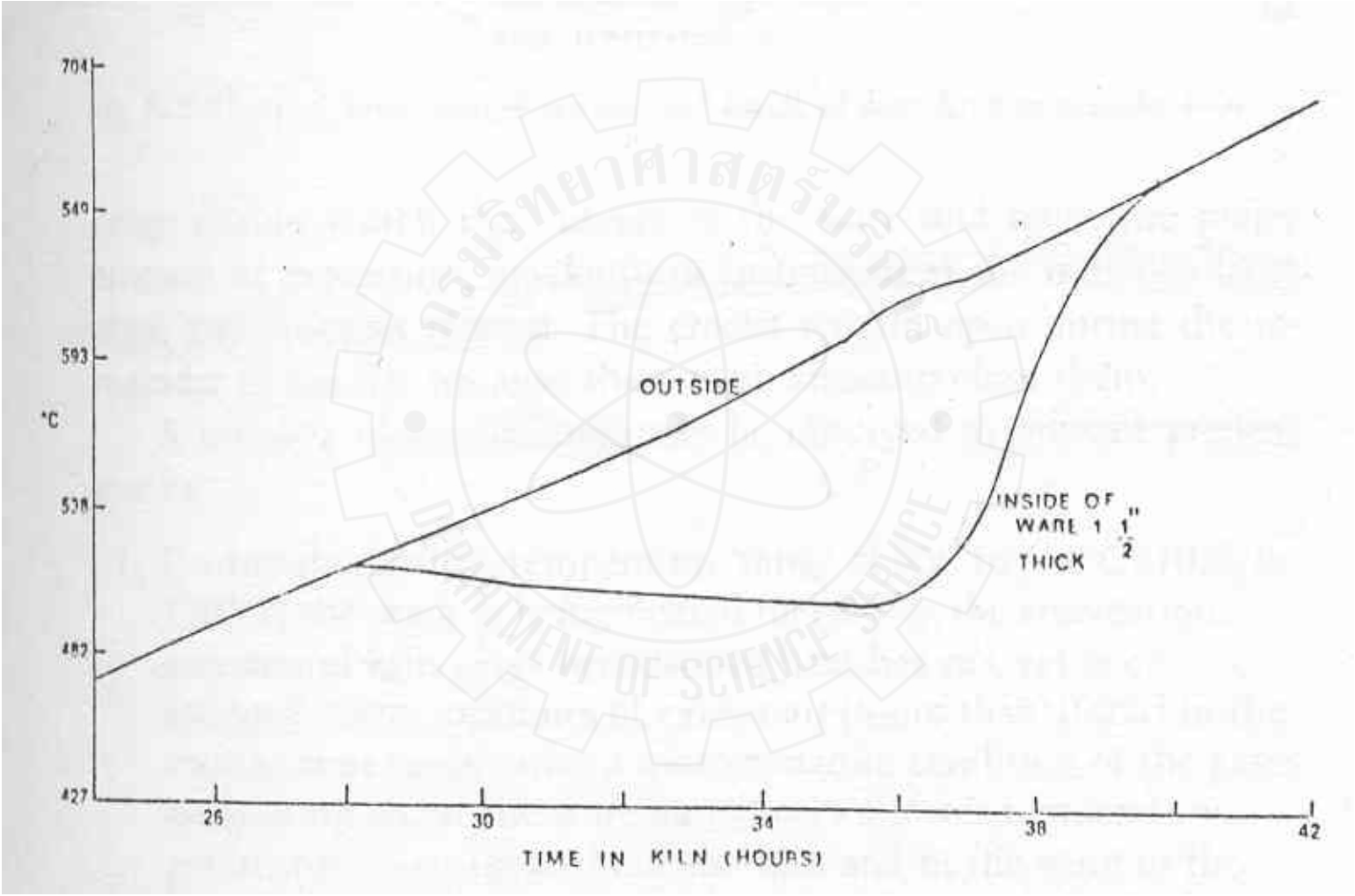




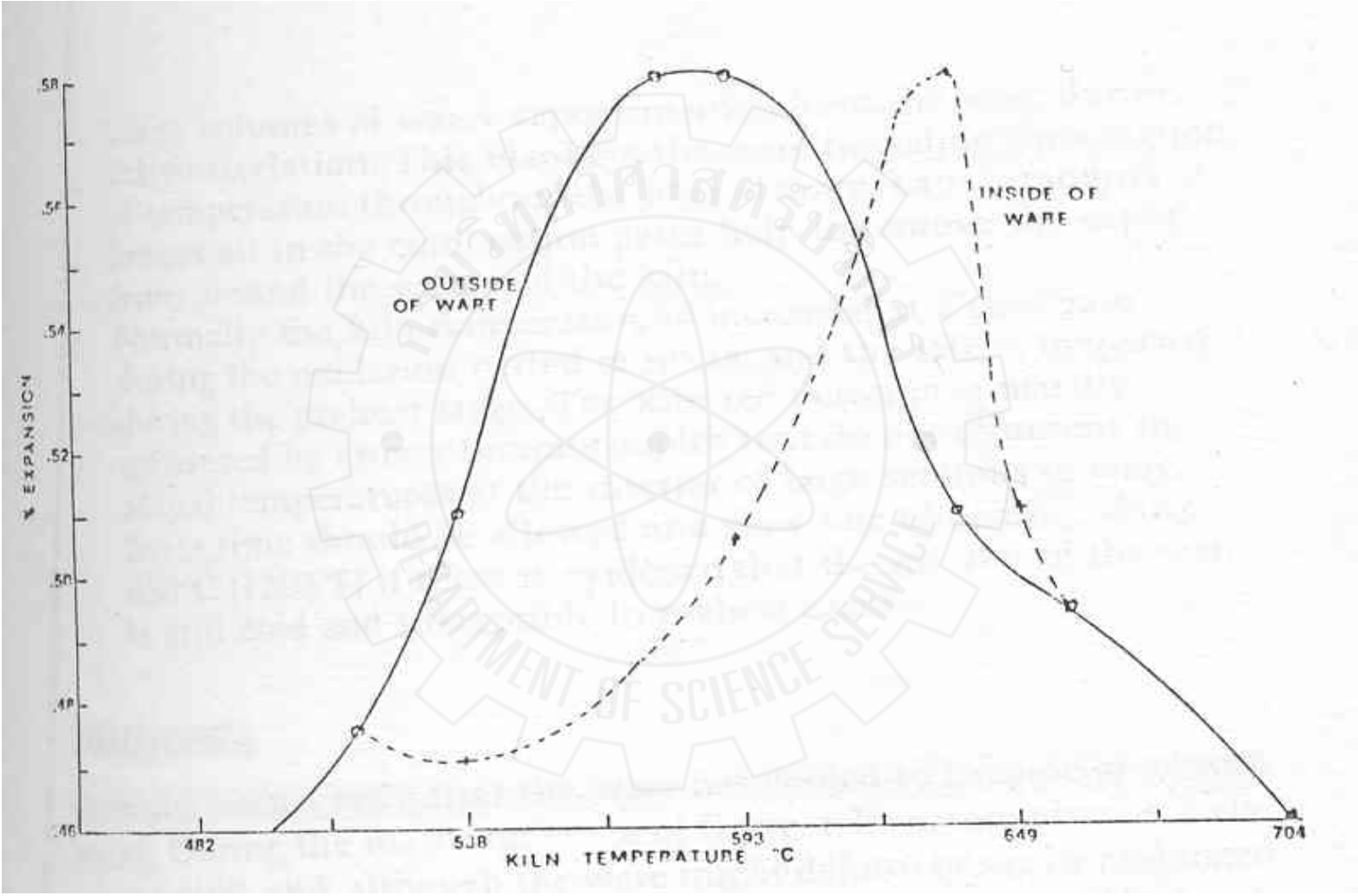
30 9 2005

1 10 2005

Temperature between inside and outside ware at any time



Thermal expansion between outside of ware and inside of ware



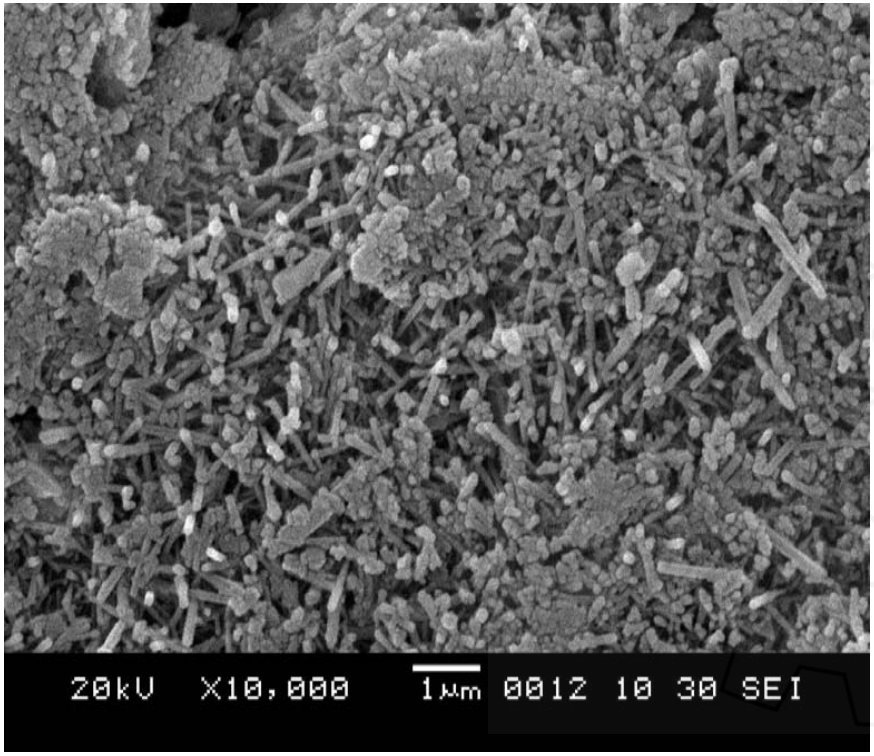
Reaction between firing

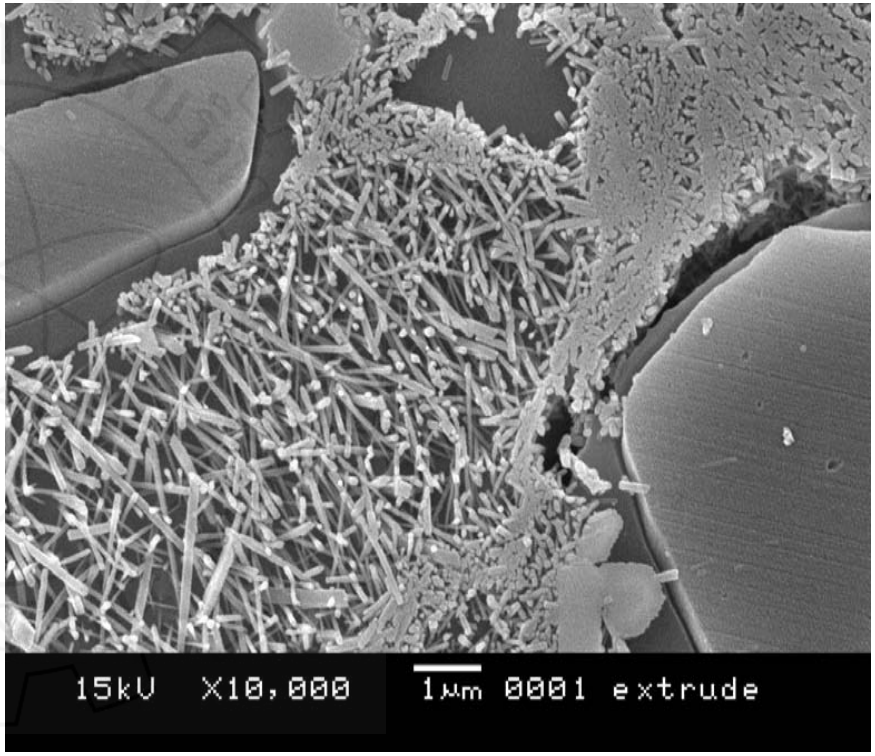
- ที่อุณหภูมิ 100-200 C° น้ำที่ใส่เข้าไปในขณะขึ้นรูปจะสลายตัวออกไป
- ที่อุณหภูมิ 300-500 C° เกิดการสลายน้ำในโครงสร้าง
- ที่อุณหภูมิ 400-600 C° เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ในเนื้อดิน
- ที่อุณหภูมิ 573 C° มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ Quartz โดยเปลี่ยนจาก α-quartz ไปเป็น ß-quartz มีการขยายตัวเกิดขึ้น
- ที่อุณหภูมิ 700-850 C° มีการสลายตัวของ $CaCO_3$ เกิด CO_2 ขึ้น ในขณะที่เคลือบเริ่มเข้าสู่ Softening point
- ที่อุณหภูมิ 900-1000 C° มีการเปลี่ยนเฟสของ SiO_2 และ Al_2O_3 ไปเป็น Spinelและต่อไปเป็น Mullite ในที่สุด และเฟสของ SiO_2 และ CaO ไปเป็น Wollastonite ที่มีโครงสร้างเป็นผลึกรูปเข็ม และ เกิดเป็น Fibrous ขึ้น
- ที่อุณหภูมิ 1000-1100 c° เคลือบเริ่มสุกตัวและให้ความมันที่ผิวหน้า

30 9 2005

1 10 2005

การเติม Dolomite ลงไปในเนื้อดิน





Raku